

PATENT COOPERATION TREATY

From the INTERNATIONAL BUREAU

PCT

NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

To:

United States Patent and Trademark
Office
(Box PCT)
Crystal Plaza 2
Washington, DC 20231
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

in its capacity as elected Office

| | |
|---|---|
| Date of mailing (day/month/year) 30 April 1999 (30.04.99) | Applicant's or agent's file reference GR 97 P 3570 P |
| International application No. PCT/DE98/02163 | Priority date (day/month/year) 11 August 1997 (11.08.97) |
| International filing date (day/month/year) 29 July 1998 (29.07.98) | |
| Applicant ADAMY, Jürgen et al | |

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:

10 March 1999 (10.03.99)

in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:

2. The election was

was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

| | |
|---|--|
| The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35 | Authorized officer Diana Nissen Telephone No.: (41-22) 338.83.38 |
|---|--|

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS**

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

| | | |
|--|---|---|
| Aktenzeichen des Annehmers oder Anwalts GR 97 P 3570 P | WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5 | |
| Internationales Aktenzeichen PCT/DE 98/ 02163 | Internationales Anmelde datum (Tag/Monat/Jahr) 29/07/1998 | (Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 11/08/1997 |
| Annehmer SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al. | | |

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Annehmer gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 2 Blätter.

Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

- a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.
- Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.
- b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das
- in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
- zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
- bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
- Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung

- wird der vom Annehmer eingereichte Wortlaut genehmigt.
- wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

5. Hinsichtlich der Zusammenfassung

- wird der vom Annehmer eingereichte Wortlaut genehmigt.
- wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Annehmer kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der Zeichnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 3

- wie vom Annehmer vorgeschlagen
- weil der Annehmer selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.
- weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.
- keine der Abb.

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/02163

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 G05B19/00 G05B13/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| X | US 5 272 621 A (AOKI SHIGEAKI) 21. Dezember 1993 siehe Spalte 5, Zeile 35 – Spalte 10, Zeile 24 --- | 1-3, 6 |
| X | DE 44 20 800 A (ROS FRED DR) 21. Dezember 1995 siehe das ganze Dokument ----- | 1, 2, 6 |
| | | |

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

| | |
|---|---|
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
| 7. April 1999 | 15/04/1999 |
| Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016 | Bevollmächtigter Bediensteter Messelken, M |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/02163

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|------------------------------|--------------------------|
| US 5272621 A | 21-12-1993 | JP 2138602 A JP 2553675 B | 28-05-1990 13-11-1996 |
| DE 4420800 A | 21-12-1995 | NONE | |

Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

| | | |
|--|---|---|
| Applicant's or agent's file reference GR 97 P 3570 P | FOR FURTHER ACTION | See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416) |
| International application No. PCT/DE98/02163 | International filing date (day/month/year) 29 July 1998 (29.07.1998) | Priority date (day/month/year) 11 August 1997 (11.08.1997) |
| International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G05B 19/00 | | |
| Applicant | SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT | |

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 4 sheets, including this cover sheet.

This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 4 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

I Basis of the report

II Priority

III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability

IV Lack of unity of invention

V Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

VI Certain documents cited

VII Certain defects in the international application

VIII Certain observations on the international application

| | |
|---|---|
| Date of submission of the demand 10 March 1999 (10.03.1999) | Date of completion of this report 15 October 1999 (15.10.1999) |
| Name and mailing address of the IPEA/EP European Patent Office D-80298 Munich, Germany Facsimile No. 49-89-2399-4465 | Authorized officer Telephone No. 49-89-2399-0 |

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/DE98/02163

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of (*Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.*):

 the international application as originally filed. the description, pages 1, 2, 4-16, as originally filed,
pages _____, filed with the demand,
pages 3, 3a, filed with the letter of 16 August 1999 (16.08.1999),
pages _____, filed with the letter of _____ the claims, Nos. _____, as originally filed,
Nos. _____, as amended under Article 19,
Nos. _____, filed with the demand,
Nos. 1-6, filed with the letter of 16 August 1999 (16.08.1999),
Nos. _____, filed with the letter of _____ the drawings, sheets/fig 1/6-6/6, as originally filed,
sheets/fig _____, filed with the demand,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

 the description, pages _____ the claims, Nos. _____ the drawings, sheets/fig _____

3. This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/DE 98/02163

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**1. Statement**

| | | | |
|-------------------------------|--------|-------|-----|
| Novelty (N) | Claims | 1 - 6 | YES |
| | Claims | | NO |
| Inventive step (IS) | Claims | 1 - 6 | YES |
| | Claims | | NO |
| Industrial applicability (IA) | Claims | 1 - 6 | YES |
| | Claims | | NO |

2. Citations and explanations

1. The present application concerns a control unit with at least one control element, which is designed as a time-discrete dynamic fuzzy logic control element.
2. US-5 272 621 represents the closest prior art. It shows a control unit with a fuzzy PI control element for controlling non-linear processes. The control unit is built into a time-discrete electronic data processing device. The latter contains a storage device for intermediate storage of actual internal state variables, particularly for creating the integral part of the control deviation.
3. The subject matter of Claim 1 differs from that prior art in that a storage device for intermediate storage of an actual internal state variable based on fuzzy inference is provided.
4. That is neither disclosed nor suggested by the prior art.

37

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

REC'D 19 OCT 1999

WIPO

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

| | | |
|---|---|--|
| Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97 P 3570 P | WEITERES VORGEHEN | siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416) |
| Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163 | Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 29/07/1998 | Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 11/08/1997 |
| Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK G05B19/00 | | |
| Anmelder SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al. | | |
| <p>1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.</p> <p>2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 4 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).</p> <p>Diese Anlagen umfassen insgesamt 4 Blätter.</p> | | |
| <p>3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> I <input checked="" type="checkbox"/> Grundlage des Berichts II <input type="checkbox"/> Priorität III <input type="checkbox"/> Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erforderliche Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit IV <input type="checkbox"/> Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung V <input checked="" type="checkbox"/> Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erforderliche Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung VI <input type="checkbox"/> Bestimmte angeführte Unterlagen VII <input type="checkbox"/> Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung VIII <input type="checkbox"/> Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung | | |

| | |
|--|--|
| Datum der Einreichung des Antrags 10/03/1999 | Datum der Fertigstellung dieses Berichts 15.10.99 |
| Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde: Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465 | Bevollmächtigter Bediensteter Messelken, M Tel. Nr. +49 89 2399 2256 |



**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163

I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

Beschreibung, Seiten:

1,2,4-16 ursprüngliche Fassung

3,3a eingegangen am 18/08/1999 mit Schreiben vom 16/08/1999

Patentansprüche, Nr.:

1-6 eingegangen am 18/08/1999 mit Schreiben vom 16/08/1999

Zeichnungen, Blätter:

1/6-6/6 ursprüngliche Fassung

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

Beschreibung, Seiten:
 Ansprüche, Nr.:
 Zeichnungen, Blatt:

3. Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-----|
| Neuheit (N) | Ja: Ansprüche | 1-6 |
| | Nein: Ansprüche | |
| Erfinderische Tätigkeit (ET) | Ja: Ansprüche | 1-6 |
| | Nein: Ansprüche | |
| Gewerbliche Anwendbarkeit (GA) | Ja: Ansprüche | 1-6 |
| | Nein: Ansprüche | |

2. Unterlagen und Erklärungen

siehe Beiblatt

Zu Punkt V

Begründete Feststellung nach Regel 66.2(a)(ii) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

- 1 Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Regler mit wenigstens einem Regelglied, daß als zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied aufgebaut ist.
- 2 Die Druckschrift US 5,272,621 bildet den nächstherrschenden Stand der Technik. Sie zeigt einen Regler mit einem Fuzzy-PI-Regelglied zur Regelung nichtlinearer Prozesse. Der Regler ist auf einer zeitdiskreten elektronischen Datenverarbeitungseinrichtung realisiert. Diese enthält eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung aktueller innerer Zustandsgrößen, insbesondere für die Bildung des Integralanteiles der Regelabweichung.
- 3 Der Gegenstand des Anspruchs 1 unterscheidet sich von diesem Stand der Technik dadurch, daß eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen vorgesehen ist.
- 4 Dies ist aus dem Stand der Technik weder bekannt noch durch ihn nahegelegt.

Aus dem Dokument WO 96/31304 und aus 'Breakout Prediction for Continuous Casting by Fuzzy Mealy Automata', Proceedings of the 3rd European Congress of Intelligent Techniques and Soft Computing EUFIT, Aachen, 29.-31 August 1995, Seiten 754 bis 5 759, J. Adamy, ist ein als Fuzzy-Automat bezeichnetes, dynamische Fuzzy-System zur Durchbruch-Früherkennung beim Stranggießen bekannt.

Aus der US 5,272,621 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung 10 zur Steuerung eines Prozesses mit Totzeit bekannt. Das Verfahren beinhaltet eine Auswertung von Eingangssignalen in der Weise, daß Prozeß-Ausgangsantworten in Relation zu bekannten Eingangsinformationen gesetzt werden. Die Eingangs-Auswerte- 15 kriterien sind dabei in einer oder mehreren der Integrator-, Proportional- und Differenzial-Prozeßantworten repräsentiert.

Aus der DE 44 20 800 A1 ist ein Fuzzy-PID-Regler bekannt, bei 20 dem zur Verkürzung der bei der Ermittlung der Stellgröße benötigten Rechenzeit durch Einschränkung der verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen die Regelmenge auf zwei Regeln minimiert wird, wobei die Fuzzyfizierungs-, in Differenz- und Defuzzyfizierungsmethoden frei wählbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Regler mit Fuzzy-Eigen- 25 schaften so zu verbessern, daß die Regelvorgänge, insbesondere die Integrations- und Differentiationsvorgänge, einfacher beeinflußbar und modifizierbar sind.

Die Aufgabe wird gelöst mit dem im Anspruch 1 angegebenen, 30 erfindungsgemäßen Regler.

Vorteil des erfindungsgemäßen Reglers ist es, daß die Eigen- 35 schaften statischer Fuzzy-Systeme und herkömmlicher, linearer dynamischer Regelglieder in Form von zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern zusammengeführt sind. Der Regler ist somit vorteilhaft ausschließlich mit Regelgliedern auf-

M 18.10.99

3a

baubar, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften aufweisen.

- Des weiteren vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße
- 5 Regler vollständig mit Standard Fuzzy-Reglersoftware programmierbar und parametrierbar ist. Beispielsweise ist der erfindungsgemäße Regler somit vorteilhaft in Software- und/oder Hardwareform realisierbar.
- 10 Besonders vorteilhaft ist es, daß die Übertragungseigenschaften der Fuzzy-Regelglieder gezielt und anschaulich modifizierbar sind. Ausgehend von Fuzzy-Regelgliedern mit einer zunächst insbesondere annähernd linearen Reglercharakteristik sind vorteilhaft gezielt gewünschte Regler-Nichtlinearitäten
- 15 einbringbar. Beispielsweise ist in dem erfindungsgemäßen Regler auf einfachste Weise eine bestimmte Reglercharakteristik

18.08.99

Patentansprüche

1. Regler (RE) mit wenigstens einem Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierenden (FA6, FA8) und/oder differenzierenden (FA7) Übertragungscharakteristik, dadurch gekennzeichnet, daß das Regelglied (FA1..FA8) als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) aufgebaut ist, das eine Speicherseinrichtung (MZ) zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße ($z(i)$) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen (F1, I1, D1, F2, I2, D2) aufweist.
2. Regler (RE) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX, FA1..FA8) aus einer Eingangsgröße ($e(i)$) und aus einer inneren Zustandsgröße ($z(i)$) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen (F1, I1, D1, F2, I2, D2) die innere Zustandsgröße ($z(i)$) derartig aktualisiert ($z(i+1)$, $F(z(i), e(i))$) und eine Ausgangsgröße ($y(i)$) derartig erzeugt ($G(z(i), e(i))$), daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) zumindest eine integrierende und/ oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungscharakteristik ($e(i)$, $y(i)$) aufweist (FIG 7a).
3. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung ($F(z(i), e(i))$) zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ($z(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7b).
4. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung ($G(z(i), e(i))$) zur Erzeugung der Ausgangsgröße ($y(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7c).

M 18.06.99

5. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß

- 5 a) die innere Zustandsgröße ($z(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszuständen ($Zm'..Z1'$, $Z0$, $Z1..Zn$) gebildet wird, und
10 b) das Fuzzy-Regelglied (FAX) bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ($z(i)$) von einem bisherigen Bearbeitungszustand ($Zm'..Zn$) zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand ($Zm'..Zn$) übergeht (FIG 8, FIG 9).

6. Verwendung eines Reglers (RE) nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Regelung eines technischen Prozesses.

APR 16 2000

09 / 4854 45

416 Rec'd PCT/PTO 11 FEB 2000

Marked up translating indication insertion of
amended pages of IPER.

advantageously be constructed solely with control elements that each systematically have dynamic fuzzy properties.

It is also advantageous that the control unit of the invention can be programmed and parametrized entirely using standard fuzzy control unit software. For instance, the control unit of the invention can thus advantageously be used in either software or hardware form or both.

It is especially advantageous that the transfer properties of the fuzzy logic control elements can be modified in a targeted and clearly understood way. Based on fuzzy logic control elements with an initially in particular virtually linear control unit characteristic, desired control unit nonlinearities can advantageously be introduced in a targeted way. For instance, in the simplest way, in the control unit of the invention a certain control unit characteristic can be implemented that is definable in a targeted way, or in other words "designable", in particular by linguistic rules that are present in the fuzzy logic control elements, or in other words the fuzzy rules of the fuzzy logic conclusions.

Advantageously, the temporally discrete dynamic fuzzy logic control elements of the control unit of the invention are in particular in the form of so-called fuzzy automata, or automata. These automata have internal state variables that are updated on the basis of fuzzy logic conclusions. The output variable is also generated on the basis of fuzzy logic conclusions, in such a way that the fuzzy logic control element has the intended transfer characteristic, in particular at least an integrating and/or a differentiating transfer characteristic.

A further advantage is that internal state variables of the fuzzy logic control elements of the control unit of the invention are formed in particular by a succession of internal processing states, and when the internal state variable is updated, the fuzzy logic control element changes over from a former processing state into a subsequent processing state in a temporally discrete manner. The state variables are advantageously capable of being displayed in a clear way using a state graph.

The control unit of the invention is advantageously used to regulate a technical process.

Further advantageous embodiments of the invention are defined by the corresponding dependent claims.

Claims

1. A control unit (RE) having at least one control element (FA1...FA8), in particular having at least one integrating transfer characteristic (FA6, FA8) and/or differentiating transfer characteristic (FA7),

characterized in that

the control element (FA1...FA8) is constructed as a temporally discrete dynamic fuzzy logic control element (FAX), and that the fuzzy logic control element (FAX) has a memory device (MZ) for buffer storage of a current internal state variable (Z(i)).

2. The control unit (RE) of claim 1,

characterized in that

the fuzzy logic control element (FAX, FA1...FA8), from an input variable (e(i)) and from an internal state variable (z(i)) on the basis of fuzzy logic conclusions (F1, I1, D1, F2, I2, D2) updates (z(i+1), f(z(i), e(i))) the internal state variable (z(i)) and generates (G(Z(i), e(i))), an output variable (y(i)) in such a way that the fuzzy logic control element (FAX) has at least one integrating and/or differentiating, in particular nonlinear transfer characteristic (e(i), y(i)) (Fig. 7a).

3. The control unit (RE) of one of claims 1 or 2,

characterized in that

the fuzzy logic control element (FAX) has at least one first static fuzzy logic device (F(z(i), e(i))) for updating the internal state variable (z(i)) of the fuzzy logic control element (FAX) on the basis of fuzzy logic conclusions (Fig. 7b).

4. The control unit (RE) of one of claims 1 through 3,

characterized in that

the fuzzy logic control element (FAx) has at least one second static fuzzy logic device (G(z(i), e(i))) for updating the output variable (y(i)) of the fuzzy logic control element (FAx) on the basis of fuzzy logic conclusions (Fig. 7c).

5. The control unit (RE) of one of claims 1 through 4,

characterized in that

a) the internal state variable (z(i)) of the fuzzy logic control element (FAx) is formed by at least one succession of processing states (Zm'...Z1', Z0, Z1..Zn), and

b) the fuzzy logic control element (FAx), upon an updating of the internal state variable (z(i)) from a previous processing state (Zm'...Zn) changes over in temporally discrete fashion into a subsequent processing state (Zm'...Zn) (Fig. 8, Fig. 9).

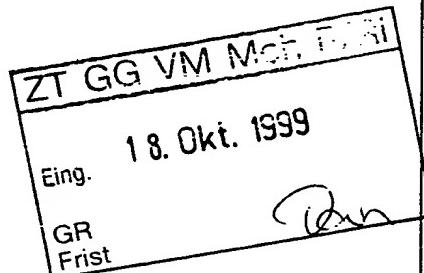
6. The use of a control unit (RE) of one of the foregoing claims for regulating a technical process.

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM
GEBIET DES PATENTWESEN**

Absender: MIT DER INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN
PRÜFUNG BEAUFTRAGTE BEHÖRDE

An:

SIEMENS AG
Postfach 22 16 34
80506 München
ALLEMAGNE



STECHINGER

21. OKT. 1999

PCT

MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERSENDUNG
DES INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN
PRÜFUNGSBERICHTS

(Regel 71.1 PCT)

Absendedatum
(Tag/Monat/Jahr)

15. 10. 99

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts
GR 97 P 3570 P

WICHTIGE MITTEILUNG

| | | |
|--|---|--|
| Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163 | Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 29/07/1998 | Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 11/08/1997 |
|--|---|--|

Anmelder

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al.

1. Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß ihm die mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde hiermit den zu der internationalen Anmeldung erstellten internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen, übermittelt.
2. Eine Kopie des Berichts wird - gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen - dem Internationalen Büro zur Weiterleitung an alle ausgewählten Ämter übermittelt.
3. Auf Wunsch eines ausgewählten Amtes wird das Internationale Büro eine Übersetzung des Berichts (jedoch nicht der Anlagen) ins Englische anfertigen und diesem Amt übermitteln.
4. **ERINNERUNG**

Zum Eintritt in die nationale Phase hat der Anmelder vor jedem ausgewählten Amt innerhalb von 30 Monaten ab dem Prioritätsdatum (oder in manchen Ämtern noch später) bestimmte Handlungen (Einreichung von Übersetzungen und Entrichtung nationaler Gebühren) vorzunehmen (Artikel 39 (1)) (siehe auch die durch das Internationale Büro im Formblatt PCT/IB/301 übermittelte Information).

Ist einem ausgewählten Amt eine Übersetzung der internationalen Anmeldung zu übermitteln, so muß diese Übersetzung auch Übersetzungen aller Anlagen zum internationalen vorläufigen Prüfungsbericht enthalten. Es ist Aufgabe des Anmelders, solche Übersetzungen anzufertigen und den betroffenen ausgewählten Ämtern direkt zuzuleiten.

Weitere Einzelheiten zu den maßgebenden Fristen und Erfordernissen der ausgewählten Ämter sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.

Name und Postanschrift der mit der internationalen Prüfung
beauftragten Behörde



Europäisches Patentamt
D-80298 München
Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d
Fax: +49 89 2399 - 4465

Bevollmächtigter Bediensteter

Kellerer, C

Tel. +49 89 2399-2261



VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

| | | |
|---|--|--|
| Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts GR 97 P 3570 P | WEITERES VORGEHEN | siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416) |
| Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163 | Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 29/07/1998 | Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 11/08/1997 |
| Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK G05B19/00 | | |
| Anmelder SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT et al. | | |
| <p>1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.</p> <p>2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 4 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).</p> <p>Diese Anlagen umfassen insgesamt 4 Blätter.</p> | | |
| <p>3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:</p> <p>I <input checked="" type="checkbox"/> Grundlage des Berichts II <input type="checkbox"/> Priorität III <input type="checkbox"/> Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erforderliche Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit IV <input type="checkbox"/> Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung V <input checked="" type="checkbox"/> Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erforderliche Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung VI <input type="checkbox"/> Bestimmte angeführte Unterlagen VII <input type="checkbox"/> Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung VIII <input type="checkbox"/> Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung</p> | | |

| | |
|--|---|
| Datum der Einreichung des Antrags 10/03/1999 | Datum der Fertigstellung dieses Berichts 15. 10. 99 |
| Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde: Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465 | Bevollmächtigter Bediensteter Messelken, M Tel. Nr. +49 89 2399 2256 |



**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163

I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

Beschreibung, Seiten:

1,2,4-16 ursprüngliche Fassung

3,3a eingegangen am 18/08/1999 mit Schreiben vom 16/08/1999

Patentansprüche, Nr.:

1-6 eingegangen am 18/08/1999 mit Schreiben vom 16/08/1999

Zeichnungen, Blätter:

1/6-6/6 ursprüngliche Fassung

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- Beschreibung, Seiten:
 Ansprüche, Nr.:
 Zeichnungen, Blatt:

3. Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER
PRÜFUNGSBERICHT**

Internationales Aktenzeichen PCT/DE98/02163

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Neuheit (N) | Ja: Ansprüche 1-6 |
| | Nein: Ansprüche |
| Erfinderische Tätigkeit (ET) | Ja: Ansprüche 1-6 |
| | Nein: Ansprüche |
| Gewerbliche Anwendbarkeit (GA) | Ja: Ansprüche 1-6 |
| | Nein: Ansprüche |

2. Unterlagen und Erklärungen

siehe Beiblatt

Zu Punkt V

Begründete Feststellung nach Regel 66.2(a)(ii) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

- 1 Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Regler mit wenigstens einem Regelglied, daß als zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied aufgebaut ist.
- 2 Die Druckschrift US 5,272,621 bildet den nächstkommenen Stand der Technik. Sie zeigt einen Regler mit einem Fuzzy-PI-Regelglied zur Regelung nichtlinearer Prozesse. Der Regler ist auf einer zeitdiskreten elektronischen Datenverarbeitungseinrichtung realisiert. Diese enthält eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung aktueller innerer Zustandsgrößen, insbesondere für die Bildung des Integralanteiles der Regelabweichung.
- 3 Der Gegenstand des Anspruchs 1 unterscheidet sich von diesem Stand der Technik dadurch, daß eine Speichereinrichtung zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen vorgesehen ist.
- 4 Dies ist aus dem Stand der Technik weder bekannt noch durch ihn nahegelegt.

Aus dem Dokument WO 96/31304 und aus 'Breakout Prediction for Continuous Casting by Fuzzy Mealy Automata', Proceedings of the 3rd European Congress of Intelligent Techniques and Soft Computing EUFIT, Aachen, 29.-31 August 1995, Seiten 754 bis 5 759, J. Adamy, ist ein als Fuzzy-Automat bezeichnetes, dynamische Fuzzy-System zur Durchbruch-Frühkennung beim Stranggießen bekannt.

Aus der US 5,272,621 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung 10 zur Steuerung eines Prozesses mit Totzeit bekannt. Das Verfahren beinhaltet eine Auswertung von Eingangssignalen in der Weise, daß Prozeß-Ausgangsantworten in Relation zu bekannten Eingangsinformationen gesetzt werden. Die Eingangs-Auswerte-kriterien sind dabei in einer oder mehreren der Integrator-, 15 Proportional- und Differenzial-Prozeßantworten repräsentiert.

Aus der DE 44 20 800 A1 ist ein Fuzzy-PID-Regler bekannt, bei dem zur Verkürzung der bei der Ermittlung der Stellgröße benötigten Rechenzeit durch Einschränkung der verwendeten Zuge-hörigkeitsfunktionen die Regelmenge auf zwei Regeln minimiert 20 wird, wobei die Fuzzyfizierungs- in Differenz- und Defuzzyfi-zierungsmethoden frei wählbar sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Regler mit Fuzzy-Eigen-schaften so zu verbessern, daß die Regelvorgänge, insbesonde-re die Integrations- und Differentiationsvorgänge, einfacher 25 beeinflußbar und modifizierbar sind.

Die Aufgabe wird gelöst mit dem im Anspruch 1 angegebenen, 30 erfindungsgemäßen Regler.

Vorteil des erfindungsgemäßen Reglers ist es, daß die Eigen-schaften statischer Fuzzy-Systeme und herkömmlicher, linearer 35 dynamischer Regelglieder in Form von zeitdiskreten, dynami-schen Fuzzy-Regelgliedern zusammengeführt sind. Der Regler ist somit vorteilhaft ausschließlich mit Regelgliedern auf-

GEÄNDERTES BLATT

3a

baubar, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften aufweisen.

- Des weiteren vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße
- 5 Regler vollständig mit Standard Fuzzy-Reglersoftware programmierbar und parametrierbar ist. Beispielsweise ist der erfindungsgemäße Regler somit vorteilhaft in Software- und/oder Hardwareform realisierbar.
- 10 Besonders vorteilhaft ist es, daß die Übertragungseigenschaften der Fuzzy-Regelglieder gezielt und anschaulich modifizierbar sind. Ausgehend von Fuzzy-Regelgliedern mit einer zunächst insbesondere annähernd linearen Reglercharakteristik sind vorteilhaft gezielt gewünschte Regler-Nichtlinearitäten
- 15 einbringbar. Beispielsweise ist in dem erfindungsgemäßen Regler auf einfachste Weise eine bestimmte Reglercharakteristik

10.06.99

Patentansprüche

1. Regler (RE) mit wenigstens einem Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierenden (FA6, FA8) und/oder differenzierenden (FA7) Übertragungscharakteristik, dadurch gekennzeichnet, daß das Regelglied (FA1..FA8) als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) aufgebaut ist, das eine Speicherinrichtung (MZ) zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße ($z(i)$) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen (F1, I1, D1, F2, I2, D2) aufweist.
2. Regler (RE) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX, FA1..FA8) aus einer Eingangsgröße ($e(i)$) und aus einer inneren Zustandsgröße ($z(i)$) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen (F1, I1, D1, F2, I2, D2) die innere Zustandsgröße ($z(i)$) derartig aktualisiert ($z(i+1)$, $F(z(i))$, $e(i)$) und eine Ausgangsgröße ($y(i)$) derartig erzeugt ($G(z(i))$, $e(i)$), daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) zumindest eine integrierende und/ oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungscharakteristik ($e(i)$, $y(i)$) aufweist (FIG 7a).
3. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung ($F(z(i), e(i))$) zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ($z(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7b).
4. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung ($G(z(i), e(i))$) zur Erzeugung der Ausgangsgröße ($y(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7c).

10 · 00 · 99

5. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß

- 5 a) die innere Zustandsgröße ($z(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszuständen ($Zm'..Z1'$, $Z0$, $Z1..Zn$) gebildet wird, und
b) das Fuzzy-Regelglied (FAX) bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ($z(i)$) von einem bisherigen Bearbeitungszustand ($Zm'..Zn$) zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand ($Zm'..Zn$) übergeht (FIG 8, FIG 9).
- 10 6. Verwendung eines Reglers (RE) nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Regelung eines technischen Prozesses.

1 416 Rec'd PCT/PTO 11 FEB 2000

Beschreibung

Regler mit zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern

- 5 In herkömmlichen Reglern als Regelglied eingesetzte Fuzzy-Systeme sind statische Systeme und verfügen als solche nicht über dynamische Übertragungseigenschaften. Sie weisen deshalb die Eigenschaften von nichtlinearen, statischen Übertragungs-gliedern auf.
- 10 Um dynamische Regeleigenschaften eines Fuzzy-Reglers zu realisieren, ist es bekannt, statische Fuzzy-Systeme mit herkömmlichen, linearen Dynamik-Regelgliedern zu kombinieren. Derartige lineare Dynamik-Regelglieder weisen insbesondere eine integrierende, differenzierende oder proportionale Übertragungscharakteristik oder auch beliebige Kombinationen davon auf. Beispielsweise werden derartige lineare Dynamik-Regelglieder auch als sogenannte I-, D-, P-, PI-, PD- oder PID-Regelglieder bezeichnet.
- 15 20 Wie in den Figuren 1 und 2 dargestellt, ist es bekannt, bei einem Regler RE' lineare Dynamik-Regelglieder mit einer integrierenden, differenzierenden und/oder proportionalen Übertragungscharakteristik entweder vor, wie in der Figur 1 dargestellt ist, oder auch einem statischen Fuzzy-System-Regelglied FU nachzuschalten, wie in der Figur 2 dargestellt. In den Figuren 1 und 2 sind jeweils beispielhaft ein lineares Dynamik-Regelglied R1' mit proportionaler, ein lineares Dynamik-Regelglied R2' mit integrierender und ein lineares Dynamik-Regelglied R3' mit differenzierender Übertragungscharak-teristik dargestellt. Die in den Figuren 1 und 2 dargestellten, bekannten Regler RE' mit Fuzzy-Eigenschaften weisen durch die linearen Dynamik-Regelglieder R1' bis R3' insbeson-dere die dynamischen Eigenschaften eines sogenannten PID-Reg-lers auf.

Aus Koch, Mario u. a. Fuzzy-Control, R. Oldenbourg Verlag
GmbH, München, 1996, Seiten 29-32 und 249-266 ist es bekannt,
zur Erzeugung dynamischer Übertragungseigenschaften, einem
Regler mit integrierenden und/oder differenzierenden Übertra-
5 gungseigenschaften ein Fuzzy-System vor-oder nachzuschalten.

Die in den Figuren 1 und 2 beispielhaft dargestellten, be-
kannten Regler RE' weisen in der Regel eine Führungsgröße w' ,
10 insbesondere zur Vorgabe eines Regelsollwertes und eine Rück-
führgröße r' auf. Die Rückführgröße r' wird dabei im Regler
RE' von der Führungsgröße w' subtrahiert und als Regeldiffe-
renz $e' = w' - r'$ den Regelgliedern R1' bis R3' bzw. dem Fuzzy-
System-Regelglied FU zugeführt. Deren Ausgangsgrößen, d.h.
15 der Regelglieder R1' bis R3' bzw. des Fuzzy-System-Regel-
glieds FU, sind im Regler RE' zusammengeführt und dienen als
Ausgangsgröße y' des Reglers RE' insbesondere zur Regelung
eines technischen Prozesses, von dem die Rückführgröße r'
insbesondere als sogenannter Regelstwert zurück zum Regler
RE' geführt ist.

20 Nachteilig ist es, daß den herkömmlichen Reglern mit Fuzzy-
Eigenschaften die Kombination von zwei unterschiedlichen Sy-
stemen, nämlich statischen Fuzzy-Systemen mit linearen Dyna-
mik-Regelglieder-Systemen zugrunde liegt. Besonders nachtei-
25 lig ist es, daß das gezielte Einbringen von Nichtlinearitäten
gar nicht oder nicht ohne erheblichen Aufwand möglich ist, da
insbesondere Kenntnisse der Kennfeldregelung oder sonstige
Zusatzkenntnisse erforderlich sind. Die Beeinflussung und
Modifizierung der Regeleigenschaften ist dadurch sehr aufwen-
30 dig oder überhaupt nicht realisierbar. Des weiteren sind
hiermit bestimmte, in der Regelungstechnik erwünschte Reg-
lereigenschaften nicht realisierbar, wie insbesondere eine
nichtlineare, begrenzte Integrations-Regelcharakteristik, wie
beispielsweise die sogenannte 'Anti-Wind-Up'-Regelcharakteri-
35 stik.

Aus dem Dokument WO 96/31304 und aus 'Breakout Prediction for Continuous Casting by Fuzzy Mealy Automata', Proceedings of the 3rd European Congress of Intelligent Techniques and Soft Computing EUFIT, Aachen, 29.-31 August 1995, Seiten 754 bis
5 759, J. Adamy, ist ein als Fuzzy-Automat bezeichnetes, dynamische Fuzzy-System zur Durchbruch-Früherkennung beim Stranggießen bekannt.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Regler mit Fuzzy-Eigenschaften so zu verbessern, daß die Regelvorgänge, insbesondere die Integrations- und Differentiationsvorgänge, einfacher beeinflußbar und modifizierbar sind.
10

Die Aufgabe wird gelöst mit dem im Anspruch 1 angegebenen,
15 erfindungsgemäßen Regler.

Vorteil des erfindungsgemäßen Reglers ist es, daß die Eigenschaften statischer Fuzzy-Systeme und herkömmlicher, linearer dynamischer Regelglieder in Form von zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern zusammengeführt sind. Der Regler ist somit vorteilhaft ausschließlich mit Regelgliedern aufbaubar, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften aufweisen.
20

Des weiteren vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße Regler vollständig mit Standard Fuzzy-Reglersoftware programmierbar und parametrierbar ist. Beispielsweise ist der erfindungsgemäße Regler somit vorteilhaft in Software- und/oder Hardwareform realisierbar.
25

Besonders vorteilhaft ist es, daß die Übertragungseigenschaften der Fuzzy-Regelglieder gezielt und anschaulich modifizierbar sind. Ausgehend von Fuzzy-Regelgliedern mit einer zunächst insbesondere annähernd linearen Reglercharakteristik sind vorteilhaft gezielt gewünschte Regler-Nichtlinearitäten einbringbar. Beispielsweise ist in dem erfindungsgemäßen Regler auf einfachste Weise eine bestimmte Reglercharakteristik
30
35

implementierbar, welche insbesondere durch in den Fuzzy-Regelgliedern vorliegende linguistische Regeln, d.h. der Fuzzy-Regeln der Fuzzy-Folgerungen gezielt definierbar, also 'designbar' ist.

5

Vorteilhaft liegen die zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieder des erfindungsgemäßen Reglers insbesondere in Form sogenannter Fuzzy-Automaten vor. Diese weisen innere Zustandsgrößen auf, welche auf Grund von Fuzzy-Folgerungen aktualisiert werden. Die Ausgangsgröße wird ebenfalls auf Grund von Fuzzy-Folgerungen derartig erzeugt, daß das Fuzzy-Regelglied die vorgesehene Übertragungscharakteristik, insbesondere zumindest eine integrierende und/oder eine differenzierende Übertragungscharakteristik aufweist.

10

Ein weiterer Vorteil ist es, daß innere Zustandsgrößen der Fuzzy-Regelglieder des erfindungsgemäßen Reglers insbesondere durch eine Folge von inneren Bearbeitungszuständen gebildet werden, wobei das Fuzzy-Regelglied bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße von einem bisherigen Bearbeitungszustand zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand übergeht. Die Zustandsgrößen sind vorteilhaft mittels eines Zustandsgraphen graphisch anschaulich darstellbar.

15

Vorteilhaft dient der erfindungsgemäße Regler zur Regelung eines technischen Prozesses.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den entsprechenden Unteransprüchen angegeben.

20

Die Erfindung wird des weiteren anhand der in den nachfolgend kurz angeführten und teilweise bereits oben erläuterten Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele weiter erläutert. Dabei zeigt beispielhaft:

25

FIG 1 einen bekannten Regler mit Fuzzy-Eigenschaften, welcher ein herkömmliches statisches Fuzzy-System auf-

weist, welchem drei lineare Dynamik-Regelglieder mit einer integrierenden, differenzierenden bzw. proportionalen Übertragungscharakteristik vorgeschaltet sind,

- 5 FIG 2 eine Ausführungsform des bekannten und bereits in der Figur 1 dargestellten Reglers mit dem herkömmlichen statischen Fuzzy-System nachgeschalteten linearen Dynamik-Regelgliedern,
- 10 FIG 3 einen erfindungsgemäßen Regler mit einem zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglied,
- FIG 4 einen erfindungsgemäßen Regler mit drei parallel geschalteten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern,
- 15 FIG 5 eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reglers gemäß der Figur 4, wobei ein sogenannter PID-Regler gebildet wird, welcher eine integrierend-differenzierend-proportionale Übertragungscharakteristik aufweist,
- 20 FIG 6 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reglers gemäß der Figur 5, wobei die Fuzzy-Regelglieder mit integrierender und differenzierender Übertragungscharakteristik in einem Fuzzy-Regelglied zusammengefaßt sind,
- 25 FIG 7a die innere Struktur einer allgemeinen Ausführungsform eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds, welches eine erste und zweite statische Fuzzyeinrichtung und eine Speichereinrichtung für die innere Zustandsgröße aufweist,
- 30 FIG 7b die innere Struktur einer bevorzugten Ausführungsform der ersten statischen Fuzzyeinrichtung eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds,

FIG 7c die innere Struktur einer bevorzugten Ausführungsform der zweiten statischen Fuzzyeinrichtung eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds,

5 FIG 8 einen Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit integrierender Übertragungscharakteristik,

FIG 9 einen Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit differenzierender Übertragungscharakteristik,

10 FIG 10 ein Beispielhaftes Diagramm zur Darstellung der Eingangs- und Ausgangsgröße des in der Figur 8 dargestellten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit integrierender Übertragungscharakteristik für den Spezialfall einer linear ausgelegten Übertragungscharakteristik,

15 FIG 11 ein Beispielhaftes Diagramm zur Darstellung der Eingangs- und Ausgangsgröße des in der Figur 9 dargestellten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit differenzierender Übertragungscharakteristik für den Spezialfall einer linear ausgelegten Übertragungscharakteristik.,

20 FIG 12a einen Zustandsgraphen eines ersten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit integrierender Übertragungscharakteristik, welches durch gezieltes Einbringen von Nichtlinearitäten als sogenanntes 'Anti-Wind-Up'-Regelglied modifiziert ist,

25 FIG 12b einen Zustandsgraphen eines ersten, als sogenanntes 'Anti-Wind-Up'-Regelglied modifizierten Fuzzy-Regelglieds, und

30 FIG 13 einen Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds mit differenzierender Übertragungscharakteristik, wobei im Bearbeitungszustand

z kleine Eingabegrößen nicht auf die Ausgangsgröße wirken.

In der Figur 3 ist beispielhaft die Struktur eines erfindungsgemäßen Reglers RE mit wenigstens einem Regelglied FA1 dargestellt. Das Regelglied FA1 weist insbesondere zumindest eine integrierende und/oder differenzierende Übertragungscharakteristik auf. Gemäß der Erfindung ist das Regelglied FA1 als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied aufgebaut. Der erfindungsgemäße Regler RE ist dabei nicht auf ein einziges zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied beschränkt, sondern kann auch beliebige Verschaltungen von mehreren Fuzzy-Regelgliedern aufweisen. Insbesondere kann der erfindungsgemäße Regler RE auch zusätzlich eine Kombination von zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern mit herkömmlichen, linearen Dynamik-Regelgliedern aufweisen.

Wie in der Figur 4 dargestellt ist, weist der erfindungsgemäße Regler RE insbesondere auch mehrere zeitdiskrete, dynamische Fuzzy-Regelglieder auf, beispielsweise drei parallel angeordnete zeitdiskrete, dynamische Fuzzy-Regelglieder FA2, FA3 und FA4. Vorteilhaft ist die Gesamt-Übertragungscharakteristik auf die einzelnen Fuzzy-Regelglieder FA2 bis FA4 aufgeteilt, wobei jedes Fuzzy-Regelglied FA2 bis FA4 eine bestimmte Komponente der Gesamt-Übertragungscharakteristik bewirkt.

In Figur 5 ist eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Reglers RE dargestellt, welcher beispielsweise durch die drei parallel angeordneten zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieder FA5, FA6 und FA7 eine integrierend-differenzierend-proportionale Übertragungscharakteristik aufweist. Dabei weist beispielsweise das Fuzzy-Regelglied FA5 ein proportionales, das Fuzzy-Regelglied FA6 eine integrierende und das Fuzzy-Regelglied FA7 eine differenzierende Übertragungscharakteristik auf. Der in Figur 5 dargestellte

Regler RE entspricht somit einem sogenannten PID-Regler mit Fuzzy-Eigenschaften.

In der Figur 6 ist des weiteren beispielhaft ein erfindungsgemäßer Regler RE mit einem zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglied FA8 dargestellt, welches eine integrierend-proportionale Übertragungscharakteristik aufweist. Der in Figur 6 dargestellte Regler RE entspricht somit einem sogenannten PI-Regler mit Fuzzy-Eigenschaften.

Dem in den Figuren 3 bis 6 dargestellten erfindungsgemäßen Regler RE mit dessen beispielhaft aufgeführten Ausführungsformen sind insbesondere eine auch als Regelsollwert bezeichnete Führungsgröße w und eine insbesondere auch als Regelwert bezeichnete Rückführgröße r zugeführt. Die aus Führungsgröße w und Rückführgröße r gebildete Regeldifferenz ist den zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern FA1, FA2 bis FA4, FA5 bis FA7, bzw. FA8 als Eingangsgröße $e(i) = w - r$ zugeführt. Die Ausgänge der jeweiligen Fuzzy-Regelglieder FA1, FA2 bis FA4, FA5 bis FA7, bzw. FA8 sind insbesondere im Regler RE zur Ausgangsgröße $y(i)$ zusammengeführt, beispielsweise durch eine direkte Addition oder eine gewichtete Addition.

In Figur 7a ist beispielhaft die innere Struktur eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds FAx dargestellt, welches eine allgemeine Ausführungsform der in den Figuren 3 bis 6 dargestellten Fuzzy-Regelglieder FA1, FA2 bis FA4, FA5 bis FA7 und FA8 beschreibt. Das Fuzzy-Regelglied FAx weist dabei mit Bezug auf die Figuren 3 bis 6 die Eingangsgröße $e(i)$ und die Ausgangsgröße $y(i)$ auf. Eingangs- und Ausgangsgröße $e(i)$ bzw. $y(i)$ können insbesondere Vektorgrößen sein, d.h. Eingangs- und Ausgangsgröße $e(i)$ bzw. $y(i)$ können auch in Form mehrerer Eingangs- bzw. Ausgangswerte vorliegen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung aktualisiert das Fuzzy-Regelglied aus der Eingangsgröße $e(i)$ und aus einer inneren Zustandsgröße $z(i)$ auf der Grundlage von Fuzzy-

Folgerungen die innere Zustandsgröße $z(i)$ derartig, daß das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} zumindest eine integrierende und/oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungsscharakteristik aufweist. Die aktuelle Zustandsgröße $z(i)$

5 kann insbesondere eine Vektorgröße sein.

Zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße $z(i)$ des Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen weist das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} des erfindungsgemäßen Reglers RE bevorzugt wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung $F(z(i), e(i))$ auf. Diese erzeugt aus der Eingangsgröße $e(i)$ und der aktuellen inneren Zustandsgröße $z(i)$ die der zeitlich auf diese folgende, innere Zustandsgröße $z(i+1)$. Zeitdiskret geht das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} von der aktuellen inneren Zustandsgröße $z(i)$ in die folgende, innere Zustandsgröße $z(i+1)$ über. Beispielsweise liegt eine durch ein Taktsignal vorgegebenen Taktrate vor, mit der das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} die innere Zustandsgröße $z(i)$ aktualisiert.

10 15 20 25 30 Des weiteren weist das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} zusätzlich bevorzugt wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung $G(z(i), e(i))$ auf, um die Ausgangsgröße $y(i)$ des Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerung zu erzeugen. Diese erzeugt aus der Eingangsgröße $e(i)$ und der aktuellen inneren Zustandsgröße $z(i)$ die aktuelle Ausgangsgröße $y(i)$. Sind die erste und zweite Fuzzyeinrichtung $F(z(i), e(i))$ bzw. $G(z(i), e(i))$ funktionsgleich, beispielsweise soll die innere Zustandsgröße $z(i)$ den gleichen Wert aufweisen wie die Ausgangsgröße $y(i)$, so ist die zweite Fuzzyeinrichtung $G(z(i), e(i))$ nicht erforderlich.

Insbesondere weist das in Figur 7a dargestellte Fuzzy-Regelglied F_{Ax} eine Speichereinrichtung MZ zur Zwischenspeicherung der aktuellen inneren Zustandsgröße $z(i)$ auf. Durch die Speichereinrichtung MZ wird die aktuelle innere Zustandsgröße $z(i)$ gespeichert und zeitdiskret die von der ersten stati-

schen Fuzzyeinrichtung $F(z(i), e(i))$ erzeugte folgende, innere Zustandsgröße $z(i+1)$ übernommen.

In den Figuren 7b und 7c ist beispielhaft die erste statische
5 Fuzzyeinrichtung $F(z(i), e(i))$ bzw. die zweite statische Fuzzyeinrichtung $G(z(i), e(i))$ dargestellt. Die statischen Fuzzyeinrichtungen $F(z(i), e(i))$ und $G(z(i), e(i))$ werden insbesondere deshalb als statisch bezeichnet, weil zeitältere Werte nicht bei der Erzeugung von neuen Werten berücksichtigt
10 werden. Über eine der ersten und zweiten Fuzzyeinrichtung $F(z(i), e(i))$ bzw. $G(z(i), e(i))$ in der Regel zugrunde liegenden Fuzzifizierungseinheit F_1 bzw. F_2 , eine Inferenzeinheit I_1 bzw. I_2 und eine Defuzzyfizierungseinheit D_1 bzw. D_2 werden auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen die folgende, innere
15 Zustandsgröße $z(i+1)$ bzw. die Ausgangsgröße $y(i)$ erzeugt.

Durch die zeitdiskrete Übernahme der folgenden, inneren Zustandsgröße $z(i+1)$ beispielsweise durch die Speichereinrichtung MZ des dynamischen Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} , wird der ersten und zweiten statischen Fuzzyeinrichtung $F(z(i), e(i))$ bzw. $G(z(i), e(i))$ die neue innere Zustandsgröße $z(i+1)$ als die nunmehr aktuelle, innere Zustandsgröße $z(i)$ zugeführt.
Ein derartig aufgebautes Fuzzy-Regelglied F_{Ax} wird insbesondere als Fuzzy-Automat bezeichnet.

25 In den Figuren 8 und 9 sind zwei zeitdiskrete, dynamische Fuzzy-Regelglieder F_{Ax} beispielhaft anhand von durch die entsprechende Zustandsgröße $z(i)$ einnehmbaren Bearbeitungszuständen Z_m' bis Z_n beschrieben. Diese weitere Ausführungsform der Erfahrung ist anhand von Zustandsgraphen des zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} dargestellt. Der in der Figur 8 dargestellte Zustandsgraph beschreibt ein Fuzzy-Regelglied F_{Ax} mit einer integrierenden Übertragungscharakteristik und der in der Figur 9 dargestellte Zustandsgraph beschreibt ein Fuzzy-Regelglied F_{Ax} mit einer differenzierenden Übertragungscharakteristik. Dabei wird gemäß der vorteilhaften Ausführungsform der Erfahrung die innere Zustandsgröße

z(i) des Fuzzy-Regelglieds FAX durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszuständen Zm' bis Z1', Z0, Z1 bis Zn gebildet, wobei das Fuzzy-Regelglied FAX bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße z(i) auf der Grundlage von Fuzzy-
5 Folgerungen von einem bisherigen Bearbeitungszustand zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand übergeht.

Die in den Figuren 8 und 9 aufgeführten Beispiele bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung sind beispielhaft auf die jeweils fünf fettgedruckt dargestellten Bearbeitungszustände Z2' bis Z2 beschränkt. Die Anzahl der Bearbeitungszustände ist selbstverständlich nicht auf die in den aufgeführten Beispielen beschränkt, sondern ist in beide Richtungen beliebig erweiterbar, wie beispielhaft durch die gestrichelten Bearbeitungszustände Zm' und Zn' angedeutet dargestellt ist.
10
15

Jedem der Bearbeitungszustände Z2' bis Z2 ist eine bestimmte Wertigkeit zugeordnet, beispielsweise NM für mittlere negative Werte, NS für kleine negative Werte, Z für Werte, welche 20 annähernd die Größe Null aufweisen, PS für kleine positive Werte oder PM für mittlere positive Werte. Die Pfeile in den Zustandsgraphen geben den Wechsel von einem aktuellen Bearbeitungszustand des Fuzzy-Regelglieds FAX in einen folgenden Bearbeitungszustand an. Den Pfeilen sind Bezugszeichen zugeordnet, welche die Eingangsgröße e(i) und die Ausgangsgröße y(i) angeben. Die Wertigkeiten der Bearbeitungszustände Z2' bis Z2 dienen dabei insbesondere auch als Fuzzy-Werte für die Eingangs- und Ausgangsgröße e(i) bzw. y(i) des Fuzzy-Regelglieds FAX. Die Bezeichnungen erfolgen dabei in Form von Eingangsgröße/Ausgangsgröße e(i)/y(i). Die Wertigkeitszuordnungen für Eingangs- und Ausgangsgröße e(i) bzw. y(i) können aber insbesondere auch unabhängig voneinander und unabhängig von den Wertigkeitszuordnungen der Bearbeitungszustände sein.
25
30

35 Die in den Zustandsdiagrammen dargestellten Pfeile zur Beschreibung der möglichen Übergänge zwischen den Bearbeitungszuständen Z2' bis Z2 und der entsprechenden Ausgangsgrößen

y(i) bei bestimmten Eingangsgrößen e(i) dienen insbesondere zur Ableitung von Fuzzy-Folgerungen für das Fuzzy-Regelglied F_{Ax}. Auf der Grundlage dieser Fuzzy-Folgerungen wird die innere Zustandsgröße z(i) insbesondere durch die erste statische Fuzzy-Einrichtung F(z(i),e(i)) und die Ausgangsgröße

- 5 y(i) insbesondere durch die zweite statische Fuzzy-Einrichtung G(z(i),e(i)) gemäß dem Zustandsdiagramm aktualisiert bzw. erzeugt, wie in Figur 7b bzw. 7c beispielhaft dargestellt ist. Beispielsweise sind zwei Fuzzy-Folgerungen:
- 10 WENN aktueller Bearbeitungszustand PS UND Eingangsgröße mit kleinem positivem Wert PS vorliegt, DANN sind folgender Bearbeitungszustand PM und Ausgangsgröße mittlerer positiver Wert PM.

- In den beispielhaften Zustandsgraphen der Figuren 8 und 9
15 sind die Regeln, d.h. insbesondere die Fuzzy-Folgerungen, wiedergegeben, mit denen das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform aus der Eingangsgröße e(i) und aus dem Bearbeitungszustand Z_{2'} bis Z₂ den Bearbeitungszustand Z_{2'} bis Z₂ derartig aktualisiert und die Ausgangsgröße y(i) derartig erzeugt, daß das Fuzzy-Regelglied
20 F_{Ax} zumindest eine integrierende bzw. eine differenzierende Übertragungscharakteristik aufweist.

- Den hier dargestellten vorteilhaften Ausführungsformen liegt
25 bei geeigneter Wahl der den Fuzzy-Folgerungen zugrundeliegenden Zugehörigkeitsfunktionen und der zugrundeliegenden Inferenzgröße zunächst nur eine lineare oder zumindest annähernd lineare Übertragungscharakteristik des Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} zugrunde. Diese Übertragungscharakteristik bildet eine vorteilhafte Ausgangsbasis für Modifizierungen, beispielsweise
30 in Form von gezieltem Einbringen von Nichtlinearitäten.

- Der in der Figur 8 dargestellte Zustandsgraph eines Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} weist Regeln für Fuzzy-Folgerungen auf, welche eine integrierende Übertragungscharakteristik des Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} bewirken. Vorteilhaft weisen dabei die Ausgangsgröße y(i) und die aktualisierte innere Zustandsgröße

$z(i+1)$, d.h. der folgende Bearbeitungszustand Z_2' bis Z_2 den gleichen Wert NM, NS, Z, PS oder PM auf.

- Beispielsweise bei Eingangsgrößen $e(i)$, welche annähernd den Wert Z aufweisen, verbleibt das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} im vorherigen Bearbeitungszustand Z_2' bis Z_2 . Bei kleinen positiven Werten PS der Eingangsgröße $e(i)$ geht das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} in den nächst höheren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von PS nach PM. Bei kleinen negativen Werten NS der Eingangsgröße $e(i)$ geht das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} in den nächst niedrigeren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von PS nach Z. Bei mittleren positiven Werten PM der Eingangsgröße $e(i)$ geht das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} insbesondere in den zweitnächst höheren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von Z nach PM. Bei mittleren negativen Werten NM der Eingangsgröße $e(i)$ geht das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} insbesondere in den zweitnächst niedrigeren Bearbeitungszustand über, d.h. beispielsweise von Z nach NM.
- Der in der Figur 9 dargestellte Zustandsgraph eines Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} weist Regeln für Fuzzy-Folgerungen auf, welche eine differenzierende Übertragungscharakteristik des Fuzzy-Regelglieds F_{Ax} bewirken. Vorteilhaft weist dabei der aktualisierte, d.h. folgende Bearbeitungszustand Z_2' bis Z_2 den gleichen Wert NM bis PM wie die Eingangsgröße $e(i)$ auf, so daß eine Speicherung der Eingangsgröße erfolgt. Die aktualisierte innere Zustandsgröße $z(i+1)$, d.h. insbesondere der folgende Bearbeitungszustand ist somit insbesondere nur von der Eingangsgröße $e(i)$ abhängig, nicht aber vom aktuellen, d.h. derzeitigen Bearbeitungszustand Z_2' bis Z_2 .

- Beispielsweise bei Eingangsgrößen $e(i)$, welche den Wert Z aufweisen, geht das Fuzzy-Regelglied F_{Ax} in den Bearbeitungszustand Z_0 über, dem die Wertigkeit Z zugeordnet ist. Die Ausgangsgröße $y(i)$ ergibt sich aus der aktuellen Eingangsgröße $e(i)$ und dem Wert der vorhergegangenen Eingangsgröße, d.h. dem aktuellen Bearbeitungszustand Z_2' bis Z_2 . Beispielsweise

ergibt ausgehend vom aktuellen Bearbeitungszustand Z_1' , dem der Wert NS zugeordnet ist, eine Eingangsgröße $e(i)$ mit dem Wert Z den folgenden Bearbeitungszustand Z_0 , dem der Wert Z zugeordnet ist und eine Ausgangsgröße $y(i)$ mit kleinem positivem Wert PS. Des weiteren sind im Beispiel der Figur 9 noch weitere Werte insbesondere für die Ausgangsgröße $y(i)$ aufgeführt, wie beispielsweise PB und NB für große positive bzw. negative Werte und PH und NH für sehr große positive bzw. negative Werte.

10

Da die in den Figuren 8 und 9 dargestellten Beispiele Zustandsgraphen mit begrenzter Anzahl an Bearbeitungszuständen Z_2' bis Z_2 beschreiben, liegt jeweils ein oberster Bearbeitungszustand Z_2 und ein unterster Bearbeitungszustand Z_2' vor. Die durch das Fuzzy-Regelglied FAx einnehmbaren Bearbeitungszustände Z_2' bis Z_2 und die Ausgangsgröße $y(i)$ sind somit auf einen höchsten bzw. niedrigsten Wert, hier PM bzw. NM beschränkt. Dem Fuzzy-Regelglied FAx ist beispielsweise aber auch eine endlose oder halb offene Folge von Bearbeitungszuständen Z_m' bis Z_n , d.h. ohne Anzahlsbeschränkung zugrundeliegbar.

In den Figuren 10 und 11 sind mit Bezug auf die in den Figuren 8 und 9 aufgeführten Ausführungsbeispiele der Erfindung mit integrierender bzw. differenzierender Übertragungscharakteristik jeweils ein Diagramm zur Darstellung der Eingangs- und Ausgangsgröße $e(i)$ bzw. $y(i)$ des entsprechenden zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds FAx beispielhaft dargestellt. Hierbei weist das jeweilige Fuzzy-Regelglied FAx zunächst eine nahezu lineare Übertragungscharakteristik auf. Diese nahezu lineare Übertragungscharakteristiken sind durch nachträgliches Einbringen von Nichtlinearitäten gezielt veränderbar, um ein erwünschtes Regelverhalten zu erzielen. Die dünnen durchgezogenen Kurven in den Figuren 10 und 11 stellen die entsprechende Eingangsgröße $e(i)$ dar, welche hier beispielsweise einen sinusförmigen Verlauf aufweisen. Die fettgedruckten, durchgezogenen Kurven stellen die entsprechende

- Ausgangsgröße $y(i)$ dar, welche die Integral- bzw. Ableitungs-funktion der entsprechenden Eingangsgröße $e(i)$ sind. Da das dynamische Fuzzy-Regelglied FAx gemäß der Erfindung zeitdiskret ist, weist die Ausgangsgröße $y(i)$ einen stufenförmigen
- 5 Verlauf auf. Die Größe der Stufen ist insbesondere durch die Abtastrate variierbar, d.h. die Taktrate, mit der das zeit-diskrete, dynamische Fuzzy-Regelglied FAx die innere Zu-standsgröße $z(i)$ aktualisiert.
- 10 In den Figuren 12a, 12b und 13 ist beispielhaft dargestellt, wie ein erfindungsgemäßer Regler RE durch das gezielte Ein-bringen von Nichtlinearitäten vorteilhaft modifizierbar ist. Das Abändern der Regeln, d.h. der Fuzzy-Folgerungen, kann insbesondere durch Abändern der Pfeile und der zugehörigen
- 15 Ausgangsgröße $y(i)$ im Zustandsgraphen erfolgen. Die Darstel-lungen der Figuren 12a, 12b und 13 sind aus Gründen der Über-sichtlichkeit unvollständig dargestellt, d.h. es sind insbe-sondere nicht alle Übergänge zwischen den Bearbeitungszustän-den Z2' bis Z2 dargestellt und dienen lediglich zur Darstel-lung von Modifizier-Prinzipien, welche insbesondere auf die
- 20 Ausführungsbeispiele der Figuren 8 und 9 übertragbar sind.

Die in den Figuren 12a und 12b dargestellten Ausführungsbei-spiele betreffen die Zustandsgraphen zweier zeitdiskreter,

25 dynamischer Fuzzy-Regelglieder FAx mit integrierender Über-tragungscharakteristik, welche als sogenannte 'Anti-Wind-Up'-Regelglieder modifiziert sind. Die Fuzzy-Regelglieder FAx sind dabei auf eine endliche, d.h. begrenzte Anzahl an Bearbeitungszuständen, hier beispielsweise die fünf Bearbeitungs-zustände Z2' bis Z2 begrenzt, wodurch die äußeren Bearbei-tungszustände Z2' und Z2 nicht unter- bzw. überschritten wer-den können. Das Fuzzy-Regelglied FAx verbleibt dabei im Bei-spiel der Figur 12a im höchsten Bearbeitungszustand PB, auch wenn als Eingabegröße ein großer positiver Wert PB eingegeben

30 wird, der sonst einen Sprung über drei Zustände bewirkt. Im Beispiel der Figur 12b wird sogar zusätzlich die beim Aktua-lisieren des Bearbeitungszustands bewirkte Sprungweite bei

Annäherung des Sättigungs-Bearbeitungszustands PB von Sprungweite drei, NB nach Z, über zwei, Z nach PM und eins, PM nach PB, zu null, PB nach PB, reduziert, obwohl als Eingangsgröße jeweils ein großer positiver Wert PB vorliegt.

5

Das in der Figur 13 dargestellte Ausführungsbeispiel betrifft den Zustandsgraphen eines zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelglieds FAX, mit modifizierter, differenzierender Übertragungscharakteristik. Kleine positive und negative Werte PS bzw. NS der Eingangsgröße bewirken dabei zwar einen Übergang des Fuzzy-Regelglieds FAX vom Bearbeitungszustand Z in den entsprechenden folgenden Bearbeitungszustand, beispielsweise von Z nach PS, von Z nach NS oder umgekehrt, die Ausgabegröße ist jedoch für kleine Werte insbesondere auf den Wert Z, d.h. auf null reduziert. Dadurch wird insbesondere die Dämpfung von Rausch- und Störsignalen der Eingangsgröße bewirkt.

10

15

Patentansprüche

1. Regler (RE) mit wenigstens einem Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierenden (FA6, FA8) und/oder differenzierenden (FA7) Übertragungscharakteristik, dadurch gekennzeichnet, daß das Regelglied (FA1..FA8) als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAX) aufgebaut ist und daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) eine Speichereinrichtung (MZ) zur Zwischenspeicherung einer aktuellen inneren Zustandsgröße ($z(i)$) aufweist.
2. Regler (RE) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX, FA1..FA8) aus einer Eingangsgröße ($e(i)$) und aus einer inneren Zustandsgröße ($z(i)$) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen (F1, I1, D1, F2, I2, D2) die innere Zustandsgröße ($z(i)$) derartig aktualisiert ($z(i+1)$, $F(z(i), e(i))$) und eine Ausgangsgröße ($y(i)$) derartig erzeugt ($G(z(i), e(i))$), daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) zumindest eine integrierende und/ oder eine differenzierende, insbesondere nichtlineare Übertragungscharakteristik ($e(i)$, $y(i)$) aufweist (FIG 7a).
3. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine erste statische Fuzzyeinrichtung ($F(z(i), e(i))$) zur Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ($z(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7b).
4. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Fuzzy-Regelglied (FAX) wenigstens eine zweite statische Fuzzyeinrichtung ($G(z(i), e(i))$) zur Erzeugung der Ausgangsgröße ($y(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) auf der Grundlage von Fuzzy-Folgerungen aufweist (FIG 7c).

5. Regler (RE) nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß

- a) die innere Zustandsgröße ($z(i)$) des Fuzzy-Regelglieds (FAX) durch wenigstens eine Folge von Bearbeitungszuständen ($Zm'..Z1'$, $Z0$, $Z1..Zn$) gebildet wird, und
- b) das Fuzzy-Regelglied (FAX) bei einer Aktualisierung der inneren Zustandsgröße ($z(i)$) von einem bisherigen Bearbeitungszustand ($Zm'..Zn$) zeitdiskret in einen folgenden Bearbeitungszustand ($Zm'..Zn$) übergeht (FIG 8, FIG 9).

10 6. Verwendung eines Reglers (RE) nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Regelung eines technischen Prozesses.

Zusammenfassung

Regler mit zeitdiskreten, dynamischen Fuzzy-Regelgliedern

- 5 Der erfindungsgemäße Regler (RE) weist wenigstens ein Regelglied (FA1..FA8), insbesondere mit zumindest einer integrierender (FA6, FA8) und/oder differenzierender (FA7) Übertragungscharakteristik auf, welches als ein zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAx) aufgebaut ist. Ein derartiges
- 10 zeitdiskretes, dynamisches Fuzzy-Regelglied (FAx) ist beispielsweise ein sogenannter Fuzzy-Automat, welcher Bearbeitungszustände ($Zm'..Zn$) aufweist. Vorteilhaft ist es, daß der erfindungsgemäße Regler mit Regelgliedern aufbaubar ist, welche jeweils systematisch dynamische Fuzzy-Eigenschaften aufweisen und bei welchen gezielt Nichtlinearitäten für ein gewünschtes Regelverhalten einbringbar sind.
- 15

FIG 3